

# Undersökning av ljudnivåer på skolgårdar

- samt hur fasad och fönster dimensioneras  
med uppmätta värden



Källa: Årstaskolan

Examensarbete vid Mälardalens Högskola

i samarbete med WSP Akustik

Utfört av Linda Gustafsson

Västerås, 2009-03-13

## Abstract

This report is written on commission by WSP Acoustics. The report studies the outdoor sound levels on school yards in Stockholm. The questions given by the company to be answered was what are the actual sound levels at different school yards with low traffic noise and how can you construct a facade element that reduces the sound level from the outside and meet the indoor requirements. Measurements for four hours was done at eight schools set north and south of the city centre. The measurement period included one school break and one lunch break. The results of the measurements were that the equivalent and maximum sound level had small variations between the schools with some exceptions. The equivalent sound level was  $L_{eq}$  58-62 dB(A) and this shows a small variation. The school with the highest equivalent sound level of 67 dB was Maria skolan. This high level can be explained by more children on the school yard together at the same time etc. The maximum sound level was 85-89 dB(A), this if the level for Sofia skolan 82 dB was ignored. The level 85-89 dB(A) also shows a small variation. Calculations of the sound reduction index ( $R'_w$ ) for facade elements were also carried out for all the schools. The resulting sound reduction index for the whole facade was 34-41 dB. After assuming a 200 mm thick concrete facade for Sjöstadsskolan another calculation of building elements gives that the window have to reduce  $R'_w$  32 dB to meet the indoor requirements. In the future WSP Acoustics will use this report to choose building elements such as windows when building or rebuilding schools. It can also be used if any of the eight schools in this report needs a window changed to improve the acoustics.

*Keywords: WSP Acoustics, noise, sound, school, school yard, measurement, equivalent sound level, maximum sound level, sound reduction index, facade*

*Nyckelord: WSP Akustik, buller, ljud, skolor, skolgård, mätning, ekvivalent ljudnivå, maximal ljudnivå, reduktionstal, fasad*

## Förord

Jag var intresserad av att skriva en rapport inom ljud och kontaktade WSP Akustik i Stockholm. Min handledare Lennart Nilsson utformade då ett förslag som senare kom att bli mitt examensarbete. Arbetet handlar om att undersöka vilken som är den dimensionerande ljudnivån på skolgårdar och att utforma ett teoriavsnitt där olika beräkningar görs för att visa hur en fasad och fönster dimensioneras för att ljudnivån inomhus skall uppfyllas.

Rapporten kommer att användas som underlag för WSP Akustik vid dimensionering av fönster vid ny- och ombyggnationer av skolor.

Denna rapport har utförts inom Samhällsteknikprogrammet med inriktning byggteknik vid Mälardalens högskola och motsvarar 15 högskolepoäng. Rapporten har genomförts på uppdrag av WSP Akustik.

Härmed vill jag tacka alla de inblandade i mitt examensarbete. Jag vill tacka WSP Akustik i Stockholm för att ha givit mig detta arbete samt tacka alla som arbetar där, som har ställt upp för mig och hjälpt mig. Ett speciellt tack till min handledare, Lennart Nilsson där på WSP samt tack till min examinator, Peter Roots på Mälardalens Högskola i Västerås.

Ett ytterligare tack till alla de skolor, rektorer och personal som lät mig komma och utföra mätningar på deras skolgårdar.

*/ Linda Gustafsson*

Västerås 2008

## Sammanfattning

Rapporten handlar om att undersöka vilken som är den dimensionerande ljudnivån på skolgårdar. De ekvivalenta och maximala ljudnivåerna ska kartläggas och med utgångspunkt från mätningarna görs ett teoriavsnitt där en fasad och fönster dimensioneras för en ljudnivå inomhus som uppfyller kriterier enligt svensk standard. Metod för att lösa problemformuleringen har varit att göra fältmätningar, datorberäkning, manuella beräkningar och litteraturstudier.

Mätningarna på de olika skolgårdarna norr och söder om Stockholm visade på en liten variation med vissa undantag för både den ekvivalenta och den maximala ljudnivån. Den ekvivalenta ljudnivån för de olika skolorna låg på mellan 58-62 dB(A) och variationen anses som liten. Den ekvivalenta ljudnivån för Mariaskolan låg på 67 dB. Detta högre värde än de andra skolornas kan ha fåtts på grund av olika faktorer som fler barn ute på rast samtidigt och kort avstånd mellan skolgård och fasad där mikrofonen hade placerats m.m. Mariaskolan hade ett 9 dB högre värde om den jämfördes med skolorna med lägst ekvivalent ljudnivå. En ljudnivåökning på 9 dB kan upplevas som dubbelt så starkt av en människa. De maximala ljudnivåerna för varje skola låg på 85-89 dB(A) detta om man bortser från Sofia skolans värde på 82 dB. Variationen på 85-89 dB anses även här som liten.

Sjöstadsskolans fasad antogs till 200 mm betong och detta gjorde att reduktionstalet  $R'_w$  för fönstret blev 32 dB för att just ljudkraven inomhus skulle uppfyllas.

Vid beräkning av skolornas olika reduktionstal fick tre skolor högre reduktionstal än de andra skolorna och en fick mycket lägre än de andra. Det beror på att ju högre den maximala ljudnivån är utomhus desto högre måste reduktionstalet vara för att kravet (se svensk standard för ljudnivån från trafik och andra yttre ljudkällor för undervisningslokaler) inomhus ej ska överstigas.

Vid nybyggnad och ombyggnad ska hänsyn tas till trafikbuller men även till lekande barn som är en minst lika viktig ljudkälla. Lekande barn bör därför tas med i beräkningarna när byggnader och byggnadselement dimensioneras. Rapporten kommer att användas som underlag för WSP Akustik vid dimensionering av fönster vid nybyggnationer och ombyggnationer av skolor.

## Innehåll

Enhetsförteckning .....	2
Inledning.....	3
Bakgrund .....	3
Tidigare undersökningar.....	3
Syfte eller Mål .....	4
Problemformulering.....	4
Avgränsning.....	4
Metod och mätutrustning .....	5
Metod.....	5
Procedur för mätningarna.....	5
Mätutrustning .....	8
Allmänt om buller.....	9
Ljuduppfattning.....	9
Vägningsfilter.....	10
Oktavband, tersband, smalband och bredbandsmätning.....	11
Ljudupplevelse.....	11
Ljudtransmission .....	12
Olika bullertyper.....	14
Medelvärde .....	14
Minvärde och maxvärde.....	15
Kalibrering .....	15
Frifältsvärde.....	15
Reduktionstal.....	16
Efterklangstid .....	16
Kriterier .....	18
Ljudnivån inomhus .....	18

Riktvärden inomhus .....	19
Teoriavsnitt om buller .....	20
Resultat och diskussion .....	22
Mätningar .....	22
Grafer .....	23
Skolornas olika reduktionstal .....	26
Slutsatser .....	28
Förslag till fortsatt arbete.....	28
Referenser .....	29
Litteratur .....	29
Internet.....	29
Personliga kontakter .....	30
Bilaga 1. Mätarens instruktionsanvisning .....	31
Bilaga 2. Karta av skolornas placering i Stockholm .....	33
Bilaga 3. Redovisning av de olika beräkningsstegen .....	34

## Enhetsförteckning

$L_{Aeq}$	= ekvivalent ljudnivå, d.v.s. medelljudnivån under en mätperiod, anges i dB(A)
$L_{AF\ 95}$	= är ljudnivån som överskrids under 95 % av tiden dvs. om $L_{95}$ är lika med 40 dB då är 40 dB den lägsta ljudnivån under 95% av tiden och det är 5% chans att 40 dB överskrids
$L_{AF(min)}$	= lägsta ljudnivå under en mätperiod, anges i dB(A)
$L_{AF(max)}$	= maximal ljudnivå under en mätperiod, anges i dB(A)
dB	= ljudet som vi hör mäts i decibel, dB
dB(A)	= anger att vägningsfilter A används vid mätningen
$D_A$	= skillnaden mellan utenivå och innenivå
$L_u$	= A-vägd ljudtrycksnivå 1-2 m framför fasad, dB eller A-vägd ljudtrycksnivå i fritt fält ökad med 3 dB
$L_i$	= rummedelvärdet av den A-vägda ljudtrycksnivån inne i rummet, dB
S	= fasadens area mot rummet, $m^2$
A	= rummets ekvivalenta ljudabsorptionsarea, $m^2 S$
$R'_w$	= vägt reduktionstal mätt i fält
V	= rummets volym, $m^3$
T	= efterklangstiden i sekunder
S	= den sammansatta konstruktionens area
$S_1$	= fönstrets area
$S_2$	= väggens area
R	= den sammansatta konstruktionens reduktionstal
$R_1$	= fönstrets reduktionstal
$R_2$	= fasadens reduktionstal

## Inledning

### Bakgrund

I dagens skolmiljö utsätts elever och personal för bullernivåer inomhus och utomhus. Ljudnivåerna utomhus beror på dels yttre faktorer som till exempel trafikbuller men även den egna verksamheten med barn som leker på skolgårdar kan vara en bullerkälla. Ljudnivåerna beror av faktorer som antalet barn, typ av aktivitet, om skolgården ligger i anslutning till fasader som reflekterar ljud och hur rasterna uppdelas. Det brukar sägas att ju fler elever desto högre ljudnivå blir det, ofta på grund av att de måste överrösta varandra för att höras. Olika aktiviteter så som lekar, sport o.s.v. kan frambringa olika ljudnivåer, inte bara barnens rörelse utan även exempelvis bollens studsande.

Det är inte bara eleverna som kan lida utan även personalen på skolan som måste vara ute på skolgården under rasterna. Långvarigt buller kan ge upphov till nedsatt hörsel, koncentrationssvårigheter och kan leda till trötthet.

En enkätstudie gjord av Socialstyrelsen (2006) som utfördes i Gävle är baserad på en sammanställning av 185 svar från 20 förskolor visade att mer än hälften av de anställda hade en testad eller upplevd hörselnedsättning. De moment som störde mest var lekar och av- och påklädning.

Vägtrafiken är oftast den dimensionerande ljudkällan men även en klass ute på rast på skolgården kan störa elever som har lektion inomhus. Den dimensionerande ljudnivån på skolgården är betydelsefull vid dimensionering av fasadelement och fönster vid ny- och ombyggnad av skolor.

### Tidigare undersökningar

Det finns inga kända undersökningar av buller från skolgårdar. Däremot finns det en hel del ljudnivåmätningar på buller inomhus kopplat till arbetsmiljö och hälsa, se nedan.

En fallstudie om, Buller i barn och ungdomsmiljöer gjord av Skövde kommun beskriver att de under år 2001 till och med år 2003 har gjort ljudnivåmätningar på olika skolor. Mätningarna har antingen utförts av en projektledare eller så har mätutrustningen placerats på en lärare eller elev. Under år 2002 utförde projektledaren mätningarna själv och mätte tre förskolor och elva grundskolor. Åldern på barnen på förskolorna var mellan ett till sex år och på grundskolorna var de mellan sju och sexton år. Mätningarna under år 2002 på förskolorna visade att inga extrema värden hade registrerats. De visade däremot att de högsta ljudnivåerna uppstod under lekperioderna rapporterar Schäder (2001).

En annan rapport gjord av Västra Götalandsregionen (2004) handlar om ljudnivåmätningar på förskolor och skolor i Lidköping och Skara under år 2002-2003. De förtäljer att mätningarna genomfördes med en ljudexponeringsmätare dvs. en dosimeter. Dosimeterns mikrofon placerades på axeln på några utvalda ur personalen på varje skola. Rapporten är gjord av Lidköpings kommun, Västra Götalandsregionens Miljömedicinska Centrum och även Skara kommun. På sju förskolor utfördes heldagsmätningar under åtta timmar med en dosimeter. Medelvärdet för alla skolorna blev



79,0 dB(A). Värdet i dB för ljudnivån utomhus för de sju förskolorna erhöles från heldagsmätningarnas graf berättar de. Vid två av dessa mätfällena för ljudnivån utomhus, nr 1 och nr 6 ansåg de att värdena blev höga på grund av reflekterande ljud från husväggar som omringade lekplatserna på tre sidor.

En ytterligare undersökning gjord av miljökontoret i Solna enligt Axbom (2006) där 17 förskolor besöktes visade alla utom en förskola maximala ljudnivåer på över 100 dBA, på den förskolan som hade lägre ljudnivå än de andra var mätningen för kort. Fem av förskolorna överskred 110 dBA vilket är riktvärdet för maximala ljudnivåer för barn om de vistas vid diskotek. Värdet passerar också riktvärdet för vuxna anser Axbom. Mätningarna genomfördes under en hel arbetsdag och mätdata registrerades med en dosimeter och mikrofon placerad i midjehöjd.

Slutsatsen av funna undersökningar och rapporter inom buller är att det inte finns någon rapport inom mitt ämne, ljudnivån på skolgårdar. Detta ämne är nytt och på denna rapport kan nya rapporter baseras.

### **Syfte eller Mål**

Att kartlägga ljudförhållanden på skolgårdar genom mätning av ekvivalenta och maximala ljudnivåer och att konstruera ett teoriavsnitt där olika beräkningar görs för att visa hur en fasad och fönster dimensioneras för att ljudnivån inomhus skall uppfyllas enligt svensk standard.

### **Problemformulering**

Att undersöka vilken som är den dimensionerande ljudnivån på skolgårdar och att konstruera ett teoriavsnitt där olika beräkningar görs för att visa hur en fasad och fönster dimensioneras för att ljudnivån inomhus skall uppfyllas enligt svensk standard.

### **Avgränsning**

I samråd med WSP Akustik valdes åtta grundskolor norr och söder om centrala Stockholm. Samtliga skolor ägs av samma kommunala fastighetsbolag, SISAB skolfastigheter i Stockholm AB. Skolorna som valdes hade sparsamt med trafik i omgivningarna och skolgårdarna var avgränsade, detta för att få så lite buller från trafiken med i mätningarna som möjligt. De ekvivalenta och maximala ljudnivåerna mättes med en ljudnivåmätare. Mätaren placerades inomhus medan mikrofonen fästes på utsidan av ett fönster som vette mot skolgården. Detta för att registrera ljudnivåerna på skolgården. Mätningarna höll på i fyra timmar där förmiddagsrasten och lunchrasten togs med. Elevantalet på skolgårdarna varierade. Alla mätningarna utfördes när det inte förekom någon nederbörd.

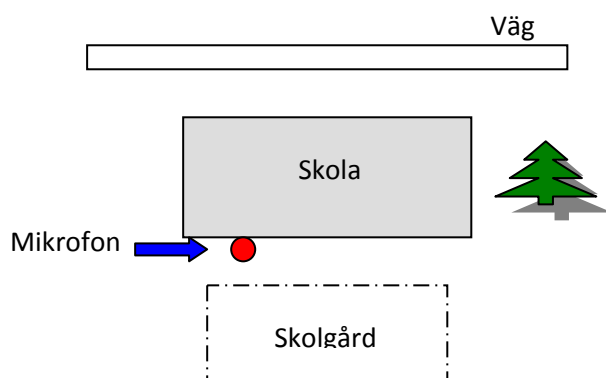
## Metod och mätutrustning

### Metod

Jag har gjort fältmätningar, datorberäkning, manuella beräkningar och litteraturstudier för att undersöka ljudnivåerna på skolgårdarna.

### Procedur för mätningarna

Mätningarna gjordes på åtta grundskolor i Stockholm ägda av SISAB skolfastigheter. Skolorna valdes ut i lägen med sparsam trafik med avgränsade skolgårdar, detta för att få så bra mätförhållanden som möjligt, se figur 1. Denna figur är endast ett exempel på hur det har sett ut på några av skolorna för att få en överblick på var mikrofonen på fönster har placerats med hänsyn till den trafikerade vägen. Mikrofonen har inte alltid placerats på samma ställe enligt figuren utan kan ha placerats i mitten eller mer åt höger på samma sida som skolgården beroende på skolbyggnadens layout. Mikrofonen placerades på denna sida av byggnaden för att reducera ljudet från trafiken så mycket som möjligt eftersom jag var intresserad av ljudnivån på skolgårdarna. Mätresultaten är ändå påverkade av trafiken. Avståndet mellan fasaden och skolgården har relevans eftersom ju närmre skolgården och barnen är till fasaden desto högre ljudnivå registreras av mikrofonen. Ju längre bort skolgården är desto mindre blir ljudnivån.

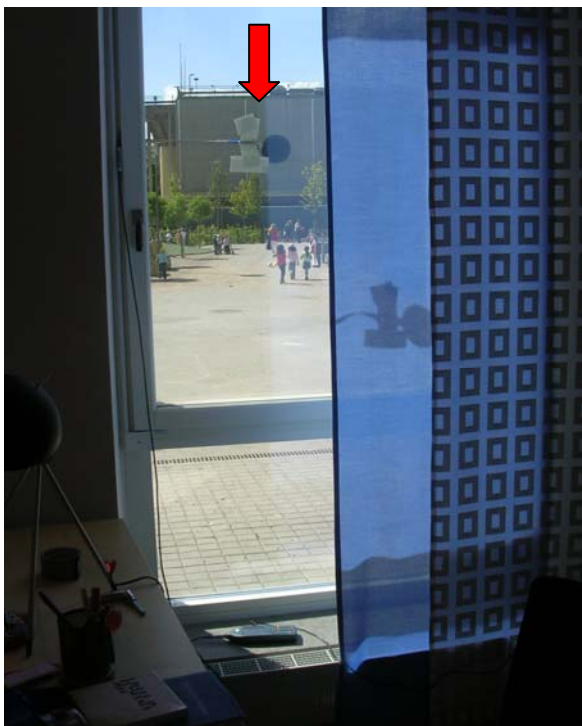


**Figur 1.** Mikrofonens placering till skolgården.

Ljudnivåmätningarna på skolorna gjordes i fyra timmar där förmiddagsrasten och lunchrasten togs med. Det hade troligtvis blivit snarlika mätresultat om istället lunchrasten och eftermiddagsrasten hade mätts. Det var ungefär samma tidsperiod för alla mättillfällena och den valdes för att fyra timmar ansågs vara tillräckligt för att få med de adekvata mätvärdena. En längre mätning skulle inte ha givit bättre eller sämre mätvärden. Alla mätningarna utfördes när det inte förekom någon nederbörd.

Ljudnivåmätaren som användes är av typ Norsonic 140. Mätaren uppfyller krav enligt IEC (Internationella elektriska kommittén). Innan mätningen påbörjades ställdes relevant data in i mätaren som t.ex. mättid och om någon ljudinspelning skulle göras (Se bilaga 1, mätarens instruktionsanvisning). Genom att göra ljudinspelningar kan man i efterhand lyssna på mätresultatet och avgöra vilken typ av störning, exempelvis bollstuds eller barnskrik, som förekom. Vägningfilter A valdes för att mätvärdena skulle avspegla hur det mänskliga örat uppfattar ljudet och mätning av frekvenserna i tersband valdes också.

Därefter kalibrerades mikrofonen till ljudnivåmätaren med en akustisk kalibrator av typ Brüel och Kjær 4231, detta för att få största möjliga noggrannhet under mätningen. Alla sladdar sattes in i ljudnivåmätaren som placerades på fönsterbrädet och mikrofonen tejpades fast på utsidan av ett fönster som vette mot skolgården, se figur 2. Mikrofonen placerades ca 1,5 m från marknivå. Mikrofonen placerades på ett fönster därför att enligt Brüel och Kjær (2000) kan en mätning utföras på fasaden. Det finns standarder för mätningar men dessa är utformade efter trafikbuller och inte för just mätningar på skolgårdar. Lagstiftningen är den som stiftar krav på vart mätningen ska utföras, t.ex. vid en tomtgräns eller inne på tomten. Det finns även andra faktorer att ta hänsyn till som hur högt över marken en mikrofon ska placeras och att det ska vara torrt på marken m.m.



**Figur 2.** Allt ihop monterat, med mikrofonen fasttejpad på fönstret.

Mätningen startades och under de fyra timmarna som mätningen pågick gjordes observationer och noteringar på aktiviteter, när det var rast etc. När mätningen var klar kalibrerades ljudnivåmätaren

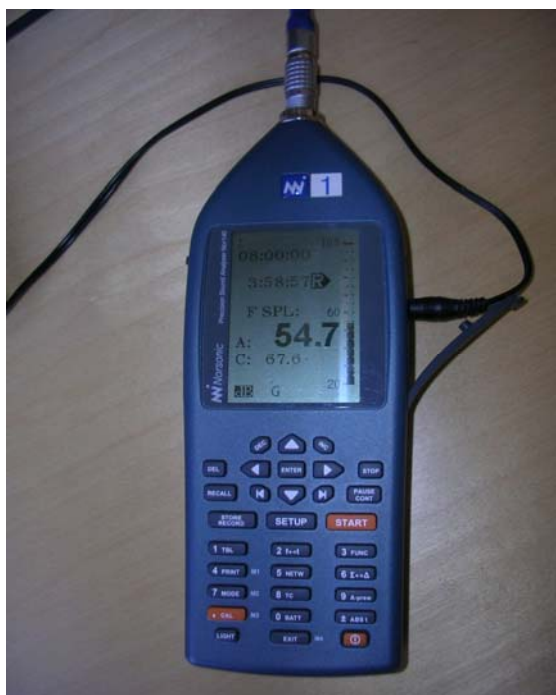
återigen så att rätt värde på 94,1 dB visades. Kalibrering görs för att få en noggrannhet i sin mätning. Om ett mätinstrument inte är kalibrerat innan mätning kan vi få rätta mätvärden, men det är inte säkert. Det är därför viktigt att instrument kalibreras innan och efter varje mätning för att man ska kunna vara säker på att värdena som fås är korrekta. Normalen, det vill säga ett känt värde, i mitt fall 94,1 dB visar hur rätt eller fel ett mätinstruments värde kan vara och den visar om värdena kan användas och jämföras med andras mätvärden. Om denne normal fås vid kalibrering då är mina mätresultat rätt och kan jämföras med andras mätresultat.

Mätresultatet fördes in i dataprogrammet, NorReview, där resultatet kunde beskådas. Där visades även de ekvivalenta och maximala ljudnivåerna samt annan intressant data. Dessa fördes sedan över till programmet Excel där två grafer ritades upp.

Om mikrofonen placeras tätt intill fasaden blir det ett 6 dB högre värde än frifältsvärdet, enligt Boverket och Arbetarskyddsstyrelsen (1996). Dessa 6 dB drogs då av från de uppmätta värdena och grafen konstruerades med rätta värden, d.v.s. frifältsvärdet. Frifältsvärdet gäller för bl.a. mikrofon tätt intill fasad, oberoende på placering av mikrofon på fasad eller på fönster. En mikrofon brukar t.ex. inte placeras på ett träd även om mikrofonen kommer närmare barnen på skolgården eftersom då vet man inte reflektionsförhållandena. Vid fasaden blir ju värdet 6 dB högre, men vid trädet vet man inte reflektionsförhållandena och för att kunna jämföra alla skolgårdar med varandra är det bättre att fasaden väljs för att placera mikrofonen på.

## Mätutrustning

Använda material är ljudnivåmätare, Norsonic 140 + kalibrator Brüel och Kjær 4231 (se figur 3 och 4), mikrofon, mikrofonkabel, tejp, batteriladdare och en digitalkamera som användes för att dokumentera de olika skolgårdarna.



Figur 3. Ljudnivåmätare, Norsonic 140.



Figur 4. Kalibrator.

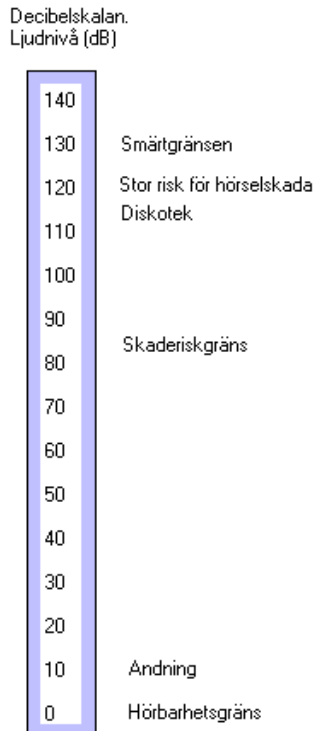
## Allmänt om buller

Buller är enligt Socialstyrelsen (2006) någonting som är icke önskvärt och som kan ge störningsupplevelser. Ljud som stör eller tröttar kallas för buller. Olika individer kan uppfatta och påverkas av buller på olika sätt beroende på vad som är störande för dem. I hemmet kan grannens stereo eller trafiken utifrån uppfattas som störande. Buller kan orsaka hörselskador, försvåra samtal och ge sömnstörningar. Buller finns idag överallt som på fabriker, verkstäder, på kontor och i skolor och i det vardagliga livet. Nedan kommer mer utförligare text som förklarar vad ljud och buller är och andra relevanta förklaringar som är bra att veta innan metod- och resultatdelen läses igenom.

### Ljuduppfattning

I Socialstyrelsen (2006) framgår att ljud är tryckvariationer i luften och att det är dessa som gör att trumhinnan sätts i svängningar. Ljudet transporteras från trumhinnan via hörselbenen till hörselsnäckan där det omvandlas till elektriska signaler som går vidare till hjärnan. Örat har möjlighet att hantera ljudtryck inom ett mycket stort område. För att täcka in detta område används en särskild skala, även kallad decibelskalan för att skildra hur starkt ljudet är (se figur 5). Resultatet anges då i decibel, dB som är mätetalet för buller och ljudtrycksnivån, dvs. hur starkt ljudet är som vi hör. På grund av decibelskalan så gäller det att summan av två lika starka ljudkällor, t.ex. två barn eller två flygplan ger 3 dB högre ljudnivå än bara den ena källan. Tio lika starka källor ger 10 dB högre ljudnivå och hundra lika starka 20 dB högre ljudnivå berättar dem.

Ett mätinstrument som mäter buller kallas för ljudnivåmätare och denna tar hänsyn till att örat är olika känsligt för olika frekvenser. Mätdata anges som ljudnivå i dB(A) förtäljer Socialstyrelsen. Ljud och buller anges i dB för att ange hur starkt ljudet är (störningsupplevelsen) medan om det anges som dB(A) (kan även skrivas dBA men dB(A) är den korrekta benämningen) då visar det att ett A-filtrer har använts vid t.ex. en ljudnivåmätning för att få mätresultat som tar hänsyn det mänskliga örat enligt Johansson (2002). Mer om detta filter berättas det om under rubriken vägningsfilter.



**Figur 5.** Decibelskalan. Källa:<http://www.human-academy.com/vetenskaper/naturvetenskap/Akustik.asp> (2008-09-02)

## Vägningsfilter

Vägningsfilter är ett standardiserat filter som finns i en ljudnivåmätare. Filtret används för att registrerade mätvärden ska efterlikna människans hörseluppfattning. Det två typer av vägningsfilter uppger Johansson (2002) som är vanligast, filter A och filter C. Filter A används för att efterlikna det mänskliga örat med hänsyn till hörselskador medan filter C används för bedömning av impulsjud. Impulsjud är enligt Socialstyrelsen (2006) ljud som uppstår plötsligt, det kan t.ex. vara ett gevärsskott eller ljudet av en spikpistol berättar dem. Beroende på vad som skall mätas t.ex. barnprat i en skolmatsal eller en bergssprängning så ska rätt filter väljas till rätt typ av mätning. Åkerlöf (2001) förtäljer att A- vägning inte är perfekt. Samma dB(A)-nivåer kan ge olika störningar beroende på ljudets frekvenssammansättning. Lågfrekvent buller kan upplevas som mer störande än högfrekvent buller fastän att de har samma dB(A)-nivå. C- vägning dämpar höga frekvenser, men den dämpar inte de låga frekvenserna på samma sätt som A- vägningen.

Johansson (2002) meddelar att om den vägda ljudtrycksnivån ökar med 8-10 dB (riktvärde) då uppfattar människan ljudet som dubbelt så starkt.

## Oktavband, tersband, smalband och bredbandsmätning

Uppdelning av ljudet i frekvenser enligt Johansson (2002) kan göras av frekvensband i olika bandbredd. Det förekommer *oktavband*, *tersband* och *smalband*. Skillnaden mellan dessa frekvensband är att oktavband ger mindre noggrann information om ett ljuds frekvensegenskaper medan tersband ger noggrannare information och den tydligaste informationen fås av smalband. Vilket band som väljs för en mätning (ställs in i ljudnivåmätaren) beror på hur noggrann mätningen ska vara och på vad som ska fås med dvs. frekvensegenskaperna.

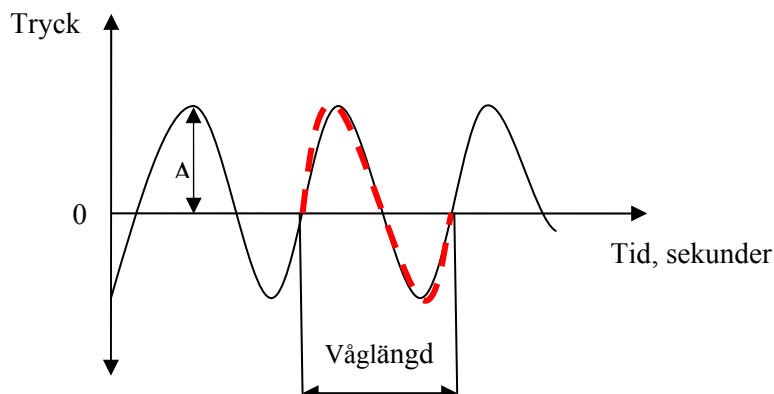
Mittfrekvenser för ett band, exempelvis oktavband visar vilka frekvenser som de använder sig av när ljud ska mätas. Vid dessa mittfrekvenser registreras sedan ljudet som mäts t.ex. vid mittfrekvensen 125 Hz = 50 dB alltså ljudet från ljudkällan. *Oktavband* har standardiserade mittfrekvenser som är 31,5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz och 16 kHz. Varje mittfrekvens är en fördubbling av den förra t.ex.  $31,5 + 31,5 \text{ Hz} = 63 \text{ Hz}$ . För att få en mer detaljerad information om ljudets frekvenssammansättning kan istället ett *tersband* väljas. Ett tersband är 1/3- oktavbandfilter, dvs. varje oktavband indelas i tre tersband. Mittfrekvenserna för tersbandet är 25, 31,5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315 Hz... osv. och fortsätter upp till 20 kHz enligt Andersson (1998). *Smalband* är ett smalare frekvensband än de andra banden som analyserar ljudet mer noggrant klagör Johansson (2002).

*Bredbandsmätningar* enligt Brüel och Kjær (2000) innefattar det hela hörbara frekvensområdet alltså 20 Hz till 20 kHz och mätningarna utförs med vägningsfilter A när utomhusbuller ska undersökas.

## Ljudspridning

Åkerlöf (2001) liknar ljudet med vattenvågor som sprider sig över en vattenyta med en konstant hastighet i m/s. Avståndet mellan två vågtoppar kallas för våglängden och antalet vågor per sekund är vågens frekvens som anges i Hertz (Hz). 1 Hertz är lika med 1 svängning per sekund. Höjden på en våg kallas för amplituden, A och den streckade delen av vågen kallas för en period (periodtiden) (se figur 6). Ljudvågor har ofta inte konstanta svängningar utan är lite mer eller mindre oregelbundna än vad som visas i figuren.





**Figur 6.** Amplituden (A), våglängden och perioden.

Vid beräkning av frekvensmätning av ljud enligt Åkerlöf (2001) är formeln:

$$\text{frekvensen} = c / \lambda$$

$c$  är ljudhastigheten i luft ca 340 m/s beroende på temperatur

$\lambda$  är våglängden i meter, horisontellt i figuren

frekvensen i Hz

Frekvensen kan också beräknas, enligt Johansson (2002) med formeln:

$$\text{frekvensen} = 1 / \text{periodtiden}$$

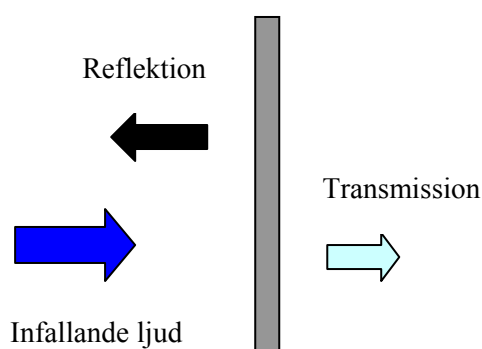
där periodtiden är hur många perioder dvs. vattenvågor i m/s som har gjorts under viss tid.

Boverket och Arbetskyddsstyrelsen (1996) redovisar att ljudstyrkan, ljudets tonhöjd och ljudets varaktighet bestämmer hur en människa upplever ett ljud. Bullerpåverkan uppger de beror dels på bullrets karaktär och dels på vilken inställning en person har till pågående buller. Hur känslig en person är beror på själva individen och på situationen.

## Ljudtransmission

Brüel och Kjær Sound and Vibration Measurement A/S (2000) rapporterar att när ljudvågor träffar en yta t.ex. en vägg på en byggnad kommer en del av ljudet att passera rakt igenom, en del kommer att reflekteras tillbaka och en annan del att absorberas av väggen och dess material (se figur 7). En yta kan sägas vara akustiskt hård, med det menas att absorptionen och transmissionen är låg och det mesta av ljudet kommer att reflekteras tillbaka. Åkerlöf (2001) berättar att en yta är akustiskt hård beroende på

vilket material den består utav. Består den utav t.ex. betong då är den akustiskt hård, medans om den består av t.ex. mineralull då är den inte det. Detta på grund av att mineralullen är ett porösare material än betongen som gör att ljudet lättare kan gå igenom det. Typiskt för porösa material är att absorptionen ökar med det infallande ljudets frekvens och med tjockleken på materialet. Om låga frekvenser förekommer då kan tjockleken på materialet ökas för att öka absorptionen. Beroende på hur väggen är sammansatt dvs. vilka material den består utav så ljudisolerar den olika. Hur mycket väggen ljudisolerar kan beräknas enligt en särskild formel som tas upp senare under denna rubrik ljudtransmission.



**Figur 7.** Ljudvågor träffar en yta och uppdelas.

Enligt Johansson (2002) kan en ytas ljudabsorption  $A$  beräknas enligt formeln,  $A = \alpha \cdot S$  där  $\alpha$  är absorptionsfaktorn och  $S$  är ytans storlek. Absorptionsfaktorns storlek varierar mellan 0 vid total reflektion och 1 vid total absorption. För hårda ytor är den nära noll och för porösare ytor är den nära ett. Absorptionsfaktorn är frekvensberoende och varierar för olika konstruktioner se nedan.

**Tabell 1.** Ljudabsorptionsfaktorer,  $\alpha$  vid olika frekvenser i Hertz.

Material	Frekvens i Hz		
	125	500	2000
Betongvägg oputsad	0,01	0,02	0,02
Tegelvägg oputsad	0,03	0,03	0,05
Fönsterglas	0,01	0,01	0,02

*Not. Från Buller och bullerbekämpning (s. 216), 2002.*

## Olika bullertyper

Buller kan enligt Brüel och Kjær (2000) delas in i *omgivningsbuller*, *specifikt buller* och *bakgrundsbuller*. *Omgivningsbuller* är det totala bullret från alla källor summerat. Olika källor kan vara trafikbuller och fågelkvitter m.m.

*Specifikt buller* är det buller som ska analyseras och kan associeras med den aktuella källan. Detta buller finns också inkluderat i omgivningsbullret.

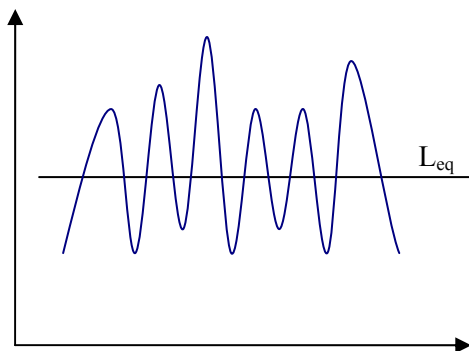
*Bakgrundsbuller* är omgivningsbullret exklusive det specifika bullret, dvs. den aktuella källan. Om källan stängs av finns endast bakgrundsbullret kvar anger Brüel och Kjær (2000). I denna rapport används  $L_{95}$  till mätningarna där den motsvarar bakgrundsnivån. Bakgrundsnivån kan antingen anges som  $L_{90}$  eller  $L_{95}$ . Det finns ingen tydlig förklaring vad som menas med bakgrundsnivån.

$L_{95}$  var lika med 46 dB(A) (se tabell 1 under rubriken kriterier) för Sjöstadsskolan, denna berättar för oss att 46 dB(A) är den lägsta ljudnivån under 95% av tiden och att det är 5% chans att denna 46 dB(A) överskrids.

I en rapport av Eschricht (1994) står det att  $L_{F 95}$  är ljudnivån som bildar bakgrundsnivån. Bullerstörningens typiska drag vid mätplatsen visas genom skillnaden mellan  $L_{F 95}$  och  $L_{eq}$ .  $L_{eq}$  står för den ekvivalenta ljudnivån. Om det varit mycket tillfälliga störningar vid mätplatsen blir skillnaden dem emellan större än om det varit ett regelbundet trafikbuller.

## Medelvärde

Brüel och Kjær (2000) redovisar att när ett varierande buller ska analyseras tas ett medelvärde på bullernivån ut (se figur 8).  $L_{eq}$  är den ekvivalenta kontinuerliga ljudnivån, dvs. medelvärdet under hela mätperioden.  $L_{eq}$  är den nivå som fås om nivån skulle ha varit konstant under hela mätperioden.  $L_{eq}$  mäter inte störningsupplevelsen utan medelenergin i en varierande ljudnivå. Forskning inom området säger däremot att den motsvarar bra till störningsupplevelsen.



**Figur 8.** Medelvärde i en bullersekvens.

$L_{Aeq}$  bokstaven A visar att A-vägning, d.v.s. A-filter har använts och eq visar att en ekvivalent nivå har kalkylerats.  $L_{Aeq}$  är alltså den A-vägda ekvivalenta kontinuerliga ljudnivån.

### Minvärde och maxvärde

Brüel och Kjær (2000) visar att  $L_{min}$  och  $L_{max}$  oftast mäts med tidsvägning Fast (F), Slow (S) eller Impulse (I). Tidsvägning eller insvägningstiderna är standardiserade och används för att ge en klar och synlig bild av de varierande bullernivåerna.

$L_{min}$  är den lägsta bullernivån under mättiden.  $L_{max}$  är den högsta bullernivån som uppkommit under hela mättiden. Denna kan användas tillsammans med t.ex.  $L_{eq}$  för att försäkra sig om att ingen enstaka bullerhändelse överskrider ett gränsvärde.

### Kalibrering

Brüel och Kjær (2000) tar upp att det är viktigt att kalibrera en ljudnivåmätare innan och efter varje mätning. Vid kalibrering kontrolleras instrumentets känslighet vid en särskild frekvens och nivå, oftast 1kHz och 94dB. Instrumenten kan påverkas av temperatur, statiskt lufttryck eller fuktighet. Skäl varför mätinstrumenten kalibreras är att annars kan en hel dags arbete gå till spillo, kalibreringsdata krävs enligt gällande standarder och förändringar i mätningssmiljön kan påverka mätningresultatet.

### Frifältsvärde

I handboken gjord av Boverket och Arbetskyddsstyrelsen (1996) visar de att frifältsvärdet kan antingen beräknas fram eller mätas. Vid beräkning fås frifältsvärdet fram genom den så kallade

nordiska beräkningsmodellen för trafikbuller. Beräkningen baseras på rådande trafikflöden för närliggande vägar och på byggnadens läge med hänsyn till dessa. Trafikflödesuppgifter kan enligt dem erhållas av kommunen eller vägverket. Om frifältsvärdet ska mätas då kan det antingen göras i frifält dvs. långt från byggnadens reflekterande ytor eller 2 m framför fasaden eller tätt intill fasaden. Ett 3 dB högre värde än frifältsvärdet  $L_{A,ute,frifält}$  fås 2 m framför fasaden medan en mätning tätt intill fasaden ger 6 dB högre värde.  $L_{A,ute,frifält}$  fås då genom att 3 dB eller 6 dB beroende på närhet till fasaden subtraheras från de uppmätta värdena enligt Boverket och Arbetarskyddsstyrelsen (1996). Frifältsvärdet är alltså det rätta mätvärdet utan fasadreflektionen som annars finns med i de uppmätta värdena om t.ex. mikrofonen sitter tätt intill fasaden eller framför den. Om t.ex. 90 dB fås som mätvärde och mikrofonen är placerad tätt intill fasaden då ska 6 dB dras av från 90 dB,  $90-6=84$  dB som är frifältsvärdet dvs. det korrekta mätvärdet utan påverkan av reflexer från fasaden. Detta värde är då riktvärdet för bullret utomhus och det är detta värde som ska tas med i ytterligare beräkningar om t.ex. en fasad eller ett fönster skall dimensioneras.

## Reduktionstal

Johansson (2002) berättar att luftljudisolerings som är mätt i ett laboratorium kallas reduktionstal  $R$  och är beroende av ljudets frekvens.  $R$  bestäms för 16 frekvensband alltså 1/3-dels oktavband enligt internationell standard. För att slippa att redogöra reduktionstalet vid varje frekvens är det vanligt att alla reduktionstalen i de 16 frekvensbanden vägs samman till endast ett värde som betecknas vägt reduktionstal  $R_w$ , där  $w$  står för det engelska ordet weighted. Detta mått tar hänsyn till frekvensområdet 100-3150 Hz. För en färdig byggnad betecknas reduktionstalet med ett primtecken ',  $R'_w$ .

Om låga frekvenser dvs. under 100 Hz ska beaktas ska  $R_w$  eller  $R'_w$  kompletteras med en anpassningsterm  $C_{x-x}$  där  $x-x$  visar vilket frekvensområde som menas. Bostäder utsätts ofta av lågfrekventa bullerkällor som t.ex. trafik och fläktar därför anser Johansson (2002) att det finns behov av god lågfrekvent ljudisolerings.

Enligt Boverket och Arbetarskyddsstyrelsen (1996) ger högre värde på reduktionstalet bättre luftljudisolerings. När en byggdel är mätt i laboratorium gäller reduktionstalet  $R_w$  endast ljudöverföringen genom den delen t.ex. en vägg. I en färdigbyggd byggnad betecknas reduktionstalet  $R'_w$  om den skildrar ljudisoleringen mellan två rum. I byggnaden påverkas reduktionstalet av ljud som transporteras genom byggnaden och ljud som transporteras via anslutande konstruktioner. För att den totala isoleringen hos dessa två ska bli tillräcklig krävs det att de anslutande konstruktionerna ska ha minst lika bra ljudisolerings som byggdelen.

## Efterklangstid

Åkerlöf (2001) berättar att efterklangstid är den tid det tar för ljudet att dö ut i ett rum vilket även kan uttryckas som den tid det tar för ljudet att sjunka 60 dB från det att ljudkällan har stängts av. Beroende

på typ av lokal enligt Boverket & Arbetskyddsstyrelsen (1996) och deras rumsvolym kan efterklangstiden vara olika, i t.ex. ett normalmöblerat rum i en bostad är efterklangstiden ca 0,5 sekunder medans efterklangstiden i en kyrka kan vara över 10 sekunder. Åkerlöf talar om att för musiska efterklangstiden vara lång, hur lång beror på vilken typ av musik det är och på rummets volym. För tydligare visualisering av efterklangstiden hänvisar jag till Åkerlöf (2001) s.18 figur 2:8 där en bild finns som åskådliggör olika lokaler med olika typer av efterklangstid beroende på rumsvolymer.

## Kriterier

### Ljudnivån inomhus

Vid ny- och ombyggnation gäller Boverkets byggregler, BBR som hänvisar till svensk standard SS 25268:2007. Standarden gäller vid ny- och ombyggnation, fast vid ombyggnation kan kraven vara svåra att uppfylla men de ska eftersträvas. Standarden anger bland annat den dimensionerande ljudnivån från trafik och andra yttre ljudkällor för undervisningslokaler så som skolor, förskolor och fritidshem, se nedanstående tabell.

**Tabell 1.** Dimensionerande ljudnivå från trafik och andra yttre ljudkällor, för undervisningslokaler: skolor, förskolor och fritidshem

Lägsta tillåtna sammanvägda ljudisolering skall fastställas genom beräkning utifrån dimensionerande ljudtrycksnivåer utomhus så att tabellens värden på ljudtrycksnivåer inte överskrids i följande utrymmen:	Högsta A-vägd ekvivalent ljudtrycksnivå $L_{pA,eq}$ dB				Högsta A-vägd maximal ljudtrycksnivå $L_{pA,Fmax}$ dB			
	Ljudklass				Ljudklass			
Typ av utrymme	A	B	C	D	A	B	C	D
19a Utrymmen för gemensamma samlingar, mer än 50 personer <i>exempelvis aula</i>	26	26	30	30	35	40	45	50
19b Utrymmen för undervisning, upp till 50 personer <i>exempelvis klassrum, lektionssal, musiksal, grupprum</i>	26	30	30	30	41	45	45	50
19c Utrymmen för hälsovård, vila, enskilt arbete, enskild undervisning, lek, samtal, idrott <i>exempelvis rum för vila, talklinik, kurator, psykolog, skolhälsovård, lärare, personal, kontor, expedition, konferenser, studierum, bibliotek, mediatek, musikövning, lek, snickarrum, slöjdsal, undervisningskök</i>	30	35	35	40	45	50	50	60
19d Övriga utrymmen där människor vistas mer än tillfälligt <i>exempelvis uppehållsrum, matsal, cafeteria, storköksutrymme</i>	35	35	40	45	55	-	-	-
19e Utrymmen där människor vistas tillfälligt <i>exempelvis korridor, entréhall, trapphus, kopiering, kapprum, WC, omklädningsrum</i>	40	45	-	-	-	-	-	-

Not. Från Svensk standard (s. 28), 2007-10-18.

Ljudklasser nyttjas för att avgöra hur bra ljudförhållande en lokal har. Det finns fyra ljudklasser och de är A, B, C och D. Ljudklass C i tabellen motsvarar minimikraven enligt BBR, ljudklass A och B motsvarar bättre ljudförhållanden än standard och ljudklass D är sämre. Ljudklass D kan i vissa fall användas vid ombyggnationer av K-märkta fastigheter. SISAB har egna ljudkrav enligt deras projekteringsanvisningar men dessa överensstämmer i stort sett med ovanstående tabell.

## Riktvärden inomhus

I tillägg till svensk standard SS 25268:2007 finns Socialstyrelsens allmänna råd om buller inomhus, SOSFS 2005:6 (M) som gäller för bostadsrum i permanentbostäder, fritidshus, lokaler för undervisning och för vård. Råden tillämpas av Miljöförvaltningen där det finns risk för att människors hälsa. Både tabell 2 och 3 nedan ska då tas hänsyn till vid bedömningen. Dessa allmänna råd är inga krav utan rekommendationer om hur de kan eller bör tillämpas.

**Tabell 2.** Buller

Maximalt ljud	$L_{AFmax}^1$	45 dB
Ekvivalent ljud	$L_{AeqT}^2$	30 dB
Ljud med hörbara tonkomponenter	$L_{AeqT}$	25 dB
Ljud från musikanläggningar	$L_{AeqT}$	25 dB

1 Den högsta A-vägda ljudnivån.

2 Den A-vägda ekvivalenta ljudnivån under en viss tidsperiod (T).

*Not. Från Socialstyrelsens författningssamling, SOSFS 2005:6(M) (s. 3), 2005-04-15.*

**Tabell 3.** Lågfrekvent buller

Tersband (Hz)	Ljudtrycksnivå (dB)
31,5	56
40	49
50	43
63	41,5
80	40
100	38
125	36
160	34
200	32

*Not. Från Socialstyrelsens författningssamling, SOSFS 2005:6(M) (s. 4), 2005-04-15.*



## Teoriavsnitt om buller

I samtliga mätningar i denna rapport är det den maximala ljudnivån utomhus som är dimensionerande för ljudnivån inomhus. Enligt svensk standard SS 25268:2007, se Tabell 1 under rubriken kriterier, så är den högsta tillåtna A-vägda maximala ljudtrycksnivån för utrymmen för undervisning 45 dB(A) vid ljudklass C. I personalutrymmen är kravet 50 dB(A). Denna ljudklass, C används eftersom det är minimikravet för en lokals ljudförhållande enligt Boverkets Byggregler, BBR. Om en förenklad fasaddimensionering ska göras så subtraheras kravet på ljudnivån inomhus (t.ex. utrymmen för undervisning 45 dB(A)) från den maximala ljudnivån utomhus och detta ger fasadisoleringen. Nedan görs en fullständig fasaddimensionering som även tar hänsyn till rummets storlek och absorption.

Vid beräkning av ljudnivån inomhus används formel (1), främst avsedd för trafikbuller. Någon formel för buller med avseende på skolgårdar finns ej dokumenterad, men den fungerar i praktiken för alla typer av bullerkällor. Denna formel finns i bilaga till svensk standard 025267 (1998). Formeln ger vägledning beträffande fasaders ljudisolering.

$$D_A = L_u - L_i = R'_{A,tr} - 10 \cdot \lg(S/A) \quad \text{som kan skrivas om till} \quad (1)$$

$$R'_w = L_u - L_i + 10 \cdot \lg(S/A) \quad (2)$$

Formeln nedan i *Att se, höra och andas i skolan* (1996). Efterklangstiden kan skrivas om till

$$T = 0,16 \cdot (V/A) \quad (3)$$

Ekvivalent ljudabsorptionsarea, A ger

$$A = 0,16 \cdot (V/T) \quad (4)$$

Sjöstadsskolan valdes för beräkning av ljudnivån inomhus. Rektorns rum valdes och dess mått var bredden 2 m, längden 4 m, höjden 3,65 m. I rum för rektor får den maximala ljudnivån ej överstiga 50 dB(A), se tabell 1. Den maximala ljudnivån utomhus på Sjöstadsskolan uppmättes till 85 dB(A).

Data från Sjöstadsskolan sätts in i formel 4:

$$A = 0,16 \cdot (V/T)$$

T, dvs. efterklangstiden antas till 0,5 sekunder vilket motsvarar normalt möblerade rum. Detta ger:

$$A = 0,16 \cdot (29,2/0,5) = 9,344 \text{ m}^2\text{S}$$

Värdet på den ekvivalenta ljudabsorptionsarean, fasadens area, ljudnivån utomhus och kravet på ljudnivån inomhus sätts sedan in i formel 2:

$$R'_w = L_u - L_i + 10 \cdot \lg(S/A) \text{ ger}$$

$$R'_w = (85+3) - 50 + 10 \cdot \lg(7,3/9,344) = 37 \text{ dB}$$

( $L_u$  är i vårt fall den A-vägda ljudtrycksnivån 1-2 m framför fasaden dvs. frifältsvärdet ökat med 3 dB)

Det vägda reduktionstalet för Sjöstadsskolan blev  $R'_w$  37 dB för den sammansatta konstruktionen dvs. vägg och fönster.

För att sedan räkna ut reduktionstalet för en enskild byggnadsdel, i detta fall fönstret så används följande formel från *Ljud och Vibrationer* (1999):

$$R = 10 \cdot \lg \frac{S}{S_1 \cdot 10^{\left(\frac{-R_1}{10}\right)} + S_2 \cdot 10^{\left(\frac{-R_2}{10}\right)}}$$

För redovisning av de olika beräkningsstegen se bilaga 3.

Fasadens tjocklek för Sjöstadsskolan visste jag inte så den antog jag till 200 mm betong och den hade ett reduktionstal på  $R'_w$  59 dB enligt beräkningsprogrammet Insul. Fönstrets area antogs till 3 m<sup>2</sup>.

Med insatta värden erhöles:

$$R_1 = -10 \cdot \lg \frac{\frac{S}{10^{\left(\frac{R}{10}\right)}} - S_2 \cdot 10^{\left(\frac{-R_2}{10}\right)}}{S_1} =$$

$$R_1 = -10 \cdot \lg \frac{\frac{9,3}{10^{\left(\frac{37}{10}\right)}} - 7,3 \cdot 10^{\left(\frac{-59}{10}\right)}}{3} = 32 \text{ dB}$$

Reduktionstalet  $R'_w$  för fönstret blev 32 dB. Det betyder att om man ska dimensionera ett fönster i rektorns rum med en fasad bestående av 200 mm betong så måste fönstret uppfylla  $R'_w$  32 dB för att ljudkraven inomhus ska innehållas.

Det vägda reduktionstalet för den sammansatta konstruktionen dvs. vägg och fönster beräknades sedan för de andra skolorna med hjälp av formeln:  $R'_w = L_u - L_i + 10 \cdot \lg(S/A)$ . Vissa värden som saknades i formeln antogs som arean  $A=9,344 \text{ m}^2$ , den sammansatta konstruktionens area  $S=7,3 \text{ m}^2$  och maximala kravet på ljudtrycksnivån för ett rektorsrum  $L_i=50 \text{ dB(A)}$ . Se tabell 2 under rubriken, skolornas olika reduktionstal.

## Resultat och diskussion

### Mätningar

Mätningarnas resultat visas i nedanstående tabell 1. Skolornas placering i Stockholm kan ses i bilaga 2. Alla redovisade värden är frifältsvärden, dvs. 6 dB har dragits av från mätresultaten.

Tabellen visar att den ekvivalenta ljudnivån,  $L_{eq}$  för de olika skolgårdarna låg på mellan 58-67 dB(A). Variationen beror på antal elever och om skolgården var helt tom eller ej mellan rasterna. Vid ett fåtal av skolorna fanns det alltid några barn ute medan det på de andra skolorna var helt tomt mellan rasterna. Ljudnivån beror även på avståndet mellan skolgård och fasad dvs. mikrofonplacering.

Den lägsta ljudnivån,  $L_{F(min)}$ , låg på 37- 46 dB(A). Dessa ljudnivåer sker när skolgården är tom och utgörs framför allt av bakgrundsbuller från vägtrafik.

Den maximala ljudnivån,  $L_{F(max)}$  låg på 82-89 dB(A). Söderberg et al. (2001) meddelar att den maximala ljudnivån är den högsta uppmätta nivån under hela mättiden. Den kan bero på höga korta skrik av någon elev förtäljer Söderberg. Det finns ingen risk för hörselskador eftersom att dessa maximala ljudnivåer bara pågår under några sekunder. I tabellen har vi uteslutit de händelser där barn medvetet skriker rakt in i mikrofonen.

Enligt Socialstyrelsen (2006) ger tio lika starka källor, t.ex. barn 10 dB högre ljudnivå. Detta kan ha påverkat på mätvärdena men på grund av att antalet barn ute på rast inte antecknades och var olika från skola till skola då kan man inte vara säker på detta. Om dessa istället hade antecknats då kunde man ha tittat på mätvärdena och konstaterat att ett högt mätvärde berodde på att tio barn var ute och lekte samtidigt.

**Tabell 1.** Sammanställning av ljudnivåmätningar på olika skolgårdar runt om i Stockholm under perioden maj-juni och augusti

Skola	Datum	Tid	$L_{Aeq}$ dB(A)	$L_{AF 95}$ dB(A)	$L_{AF(min)}$ dB(A)	$L_{AF(max)}$ dB(A)
Sjöstadsskolan	2008-05-26	Kl: 9.00-13.00	61	46	40	85
Katarina Södra skola	2008-05-29	Kl: 9.00-13.00	58	45	40	89
Sofia skola	2008-05-30	Kl: 9.00-13.00	58	46	41	82
Årstaskolan	2008-06-02	Kl: 9.00-13.00	62	45	37	89
Hägerstensåsens skola	2008-06-03	Kl: 9.00-13.00	59	44	42	85
Mariaskolan	2008-08-25	Kl: 9.30-13.30	67	50	46	88
Engelbrekts-skolan	2008-08-26	Kl: 10.00-14.00	62	50	42	89
Vasa Real	2008-08-29	Kl: 9.30-13.30	60	47	42	85

Skillnaden mellan den ekvivalenta ljudnivån och bakgrundsniån,  $L_{AF 95}$  se tabellen visar hur mycket bullerstörningar som det har varit på en mätplats. Vid dessa mätplatser på skolgårdarna har värdena legat på mellan 12-17 dB vilket visar att det förekommit färre tillfälliga störningar, t.ex. buller från tågtrafik eller buller från flygtrafik, som påverkat på den ekvivalenta ljudnivån. Om värdena hade legat under 10 dB då visar det att hade det funnits mer tillfälliga störningar som påverkat den ekvivalenta ljudnivån.

Om t.ex. den ekvivalenta ljudnivån hade varit 70 dB och  $L_{AF 95}$  hade varit 70 dB då hade det varit svårt att urskilja bullerstörningen från ljudet som skulle mätas. Då hade skillnaden mellan dem blivit 0 dB vilket visar att det då funnits mycket tillfälliga störningar.

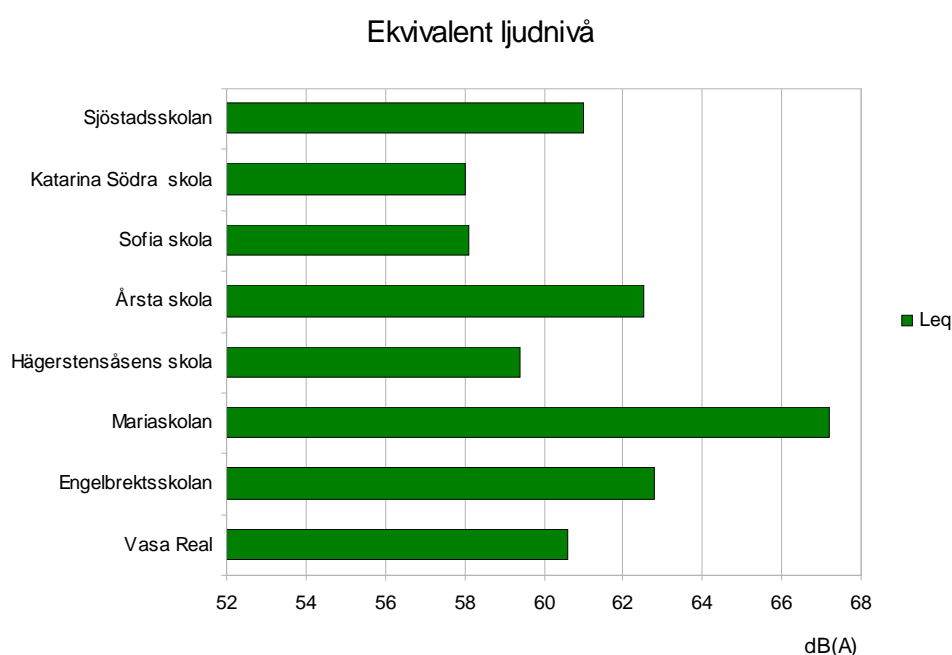
Om bakgrundsniån,  $L_{AF 95}$  i detta fall 44-50 dB(A) ligger mycket lägre än de den ekvivalenta ljudnivån då visar det att det har varit bra mätningar och att mätningarna har utförts utan större påverkan av bakgrundsbuller t.ex. från trafik.

## Grafer

Här nedan redovisas ekvivalent och maximal ljudnivå för varje skola i grafisk form.

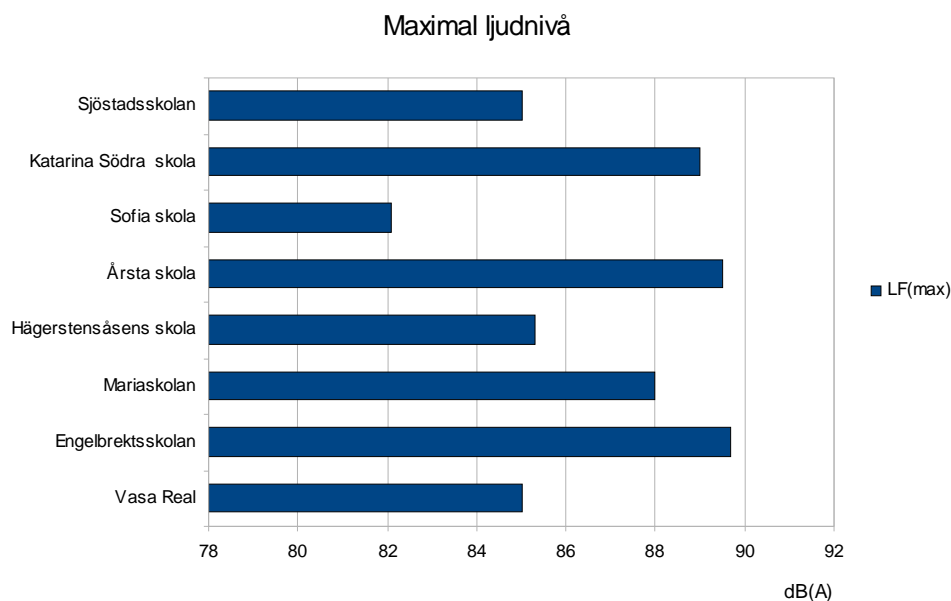
Om den ekvivalenta ljudnivån jämförs mellan de olika skolorna se figur 9 visar den att den ekvivalenta ljudnivån varierar. Mariaskolan hade den högsta ekvivalenta ljudnivån detta troligen på grund av mer aktivitet och att det var fler barn ute på rasterna. Tio lika starka källor, t.ex. barn ger 10 dB högre ljudnivå enligt Socialstyrelsen (2006). Detta kan vara en orsak till att Mariaskolan hade en så mycket högre ljudnivå än de andra skolorna. Mariaskolans ljudnivå låg på ca 9 dB om den jämfördes med någon av skolorna med lägst ekvivalenta ljudnivå. Detta värde fås om Mariaskolans ekvivalenta ljudnivå subtraheras från t.ex. Sofia skolans alltså  $67 \text{ dB} - 58 \text{ dB} = 9 \text{ dB}$ .

Om den vägda ljudtrycksnivån ökar med 8-10 dB (riktvärde) då uppfattar människan ljudet som dubbelt så starkt i enlighet med Johansson (2002). En ljudnivåökning på 9 dB kan då upplevas som dubbelt så starkt av en människa.



**Figur 9.** Jämförelse av ekvivalent ljudnivå mellan skolorna.

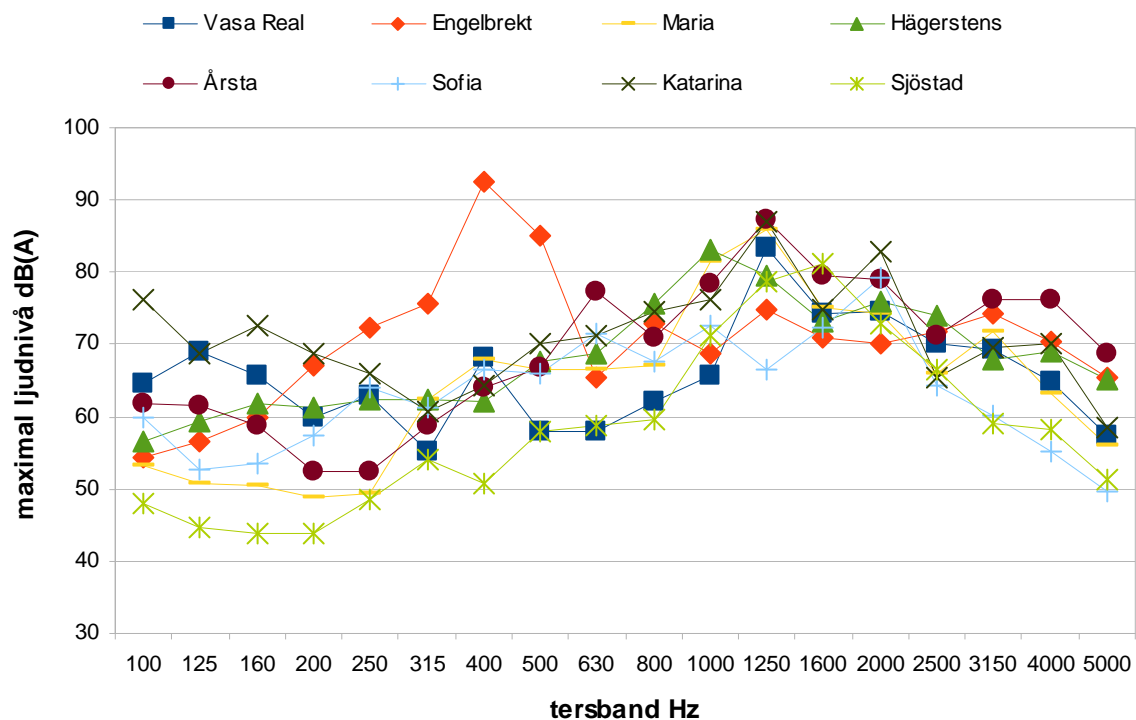
Den maximala ljudnivån låg på 82-89 dB(A), se figur 10. De högsta ljudnivåerna hade Engelbrektsskolan och Årstaskolan, deras ekvivalenta ljudnivå var också hög vilket visar att här var mer högljutt under hela mätperioden och att de hade fler barn ute rasterna än på de andra skolorna. Katarina Södra skola hade också en hög maximal ljudnivå men där var det lugnare på skolgården än på de andra två skolorna. Den höga maximala ljudnivån beror troligen på ett fåtal händelser med hög ljudnivå.



**Figur 10.** Jämförelse av maximal ljudnivå mellan skolorna.

Nedan redovisas spektrum för den maximala ljudnivån dvs. hur frekvensfördelningen ser ut på de olika skolorna. För att få fram den totala maximal ljudnivån för en skola adderas värdet logaritmiskt för alla frekvenserna för just den skolan.

Frekvensfördelningen visar energiinnehållet dvs. vid vilka frekvenser som ljudet är koncentrerat till. Figur 11 visar att alla skolor utom Engelbrektsskolan har de mesta av ljudet koncentrerat till 1000-2000 Hz. I detta intervall återfinns typiskt barnskrik. Engelbrektsskolan hade högst maximal ljudnivå vid 400 Hz. Vid genomlysning av inspelningen från ljudnivåmätningen på Engelbrektsskolan kunde det konstateras att den maximala ljudnivån utgörs av en lärare som tillrättavisar en elev och pratar med betydligt lägre röstläge och därmed lägre frekvensinnehåll.



**Figur 11.** Frekvensfördelning av maximal ljudnivå på skolorna.

Olika felkällor som kan förekomma i mätningar och beräkningar kan vara kalibreringsfel, mikrofonen kan ha placerats på olämpligt ställe med hänsyn till väggar, reflektion samt räknefel i beräkningarna. Mikrofonen har dock alltid kalibrerats före respektive efter mätningarna.

*Svårigheter* som fanns i början av mätningarna var att veta vilka typiska ljudnivåer som uppstår när barn leker på skolgårdar. Detta gjorde det svårt att göra inspelningar med triggerfunktionen på mätaren. När vanan senare infann sig konstaterades det att ett värde runt 80 dB(A) gav inspelningar som var väsentliga.

### Skolornas olika reduktionstal

Enligt avsnittet, teoriavsnitt om buller så beräknades det vägda reduktionstalet för de olika skolornas fasader. Beräkningarna som gjordes är endast överslagsberäkningar och vissa värden antogs. I beräkningarna antogs det för alla skolorna att arean  $A=9,344 \text{ m}^2$ , den sammansatta konstruktionens area  $S=7,3 \text{ m}^2$  och det antogs att rummet var ett rektorsrum med krav på att den maximala ljudtrycksnivån maximalt ska vara  $L_1=50 \text{ dB(A)}$ . Dessa värden är precis samma värden som användes i teoriavsnittet om buller för Sjöstadsskolan.  $L_v$  är även här den A-vägda ljudtrycksnivån 1-2 m framför fasaden dvs. frifältsvärdet ökat med 3 dB.

Tabellen, se nedan visar att de olika skolorna hade reduktionstal som låg på mellan 34-41 dB för den sammansatta konstruktionen, dvs. total väggkonstruktion inklusive fönster, med de antagna värdena. Lägst vägt reduktionstal hade Sofia skolan som också hade lägst maximal ljudnivån. Högst reduktionstal hade skolorna som hade högst maximal ljudnivån alltså Katarina Södra skolan, Årstaskolan och Engelbrektsskolan.

De vägda reduktionstalen som har räknats fram anser jag är trovärdiga eftersom vid försök att byta ut värden på A, S och kravet på rummet dvs.  $L_i$  i formeln har skolorna som hade högst reduktionstal fått högre värden än de andra. Även skolan som hade lägst reduktionstal hade även här lägst värde. Detta visar att ju högre maximal ljudnivån det är ute desto högre måste reduktionstalet för den totala väggkonstruktionen vara för att kravet inomhus ej får överstiga 50 dB(A) enligt svensk standard se tabell 1 under rubriken kriterier.

**Tabell 2.** Vägt reduktionstal för de olika skolornas sammansatta konstruktioner

<b>Skola</b>	<b><math>L_{AF(max)}</math> dB(A)</b>	<b>Värdet ökat med 3 dB</b>	<b>Vägt reduktionstal, <math>R'_w</math> dB</b>
Sjöstadsskolan	85	88	37
Katarina Södra skola	89	92	41
Sofia skola	82	85	34
Årstaskolan	89	92	41
Hägerstensåsens skola	85	88	37
Mariaskolan	88	91	40
Engelbrektsskolan	89	92	41
Vasa Real	85	88	37



## Slutsatser

Mätningarnas resultat för de olika skolgårdarna för den ekvivalenta ljudnivån och den maximala ljudnivån visade på en liten variation med vissa undantag. Den ekvivalenta ljudnivån för de olika skolorna låg på mellan 58-62 dB(A) och variationen anses som liten. Den ekvivalenta ljudnivån för Mariaskolan låg på 67 dB. Detta högre värde än de andra skolornas kan ha fåtts på grund av olika faktorer som fler barn ute på rast samtidigt och kort avstånd mellan skolgård och fasad där mikrofonen hade placerats m.m. Mariaskolan hade ett 9 dB högre värde om den jämfördes med skolorna med lägst ekvivalent ljudnivå. En ljudnivåökning på 9 dB kan upplevas som dubbelt så starkt av en människa. De maximala ljudnivåerna för varje skola låg på 85-89 dB(A) detta om man bortser från Sofia skolans värde på 82 dB. Variationen på 85-89 dB anses även här som liten.

Sjöstadsskolans fasad antogs till 200 mm betong och detta gjorde att reduktionstalet  $R'_w$  för fönstret blev 32 dB för att just ljudkraven inomhus skulle uppfyllas.

Vid beräkning av skolornas olika reduktionstal för den sammansatta konstruktionen dvs. total väggkonstruktion inklusive fönster fick tre skolor högre reduktionstal än de andra skolorna och en fick avsevärt lägre än de andra. Det beror på att ju högre den maximala ljudnivån är utomhus desto högre måste reduktionstalet vara för att kravet inomhus ej ska överskridas.

## Förslag till fortsatt arbete

Att använda denna rapport som underlag för mätningar vid andra skolor i t.ex. någon annan stad för att se hur de mätvärdena ligger i jämförelse till denna rapport's mätvärden.

## Referenser

### Litteratur

Andersson, J. (1998). *Akustik & Buller*. Stockholm: Elanders Svenskt Tryck AB.

Backman, J. (1998). *Rapporter och uppsatser*. Lund: Studentlitteratur.

Bodén, H., Carlsson, U., Glav, R., Wallin, H. P., & Åbom, M. (1999). *Ljud och Vibrationer*. Stockholm: Norstedts Tryckeri AB.

Boverket & Arbetarskyddsstyrelsen. (1996). *Att se, höra och andas i skolan - en handbok om skolans innemiljö*. Falköping: Gummessons Tryckeri AB.

*Buller inomhus*. Socialstyrelsens författningssamling, SOSFS 2005:6(M). Kungälv: Grafikerna Livréna.

Eschricht, M. (1994). *Ljudnivåmätningar i Stockholms parker och grönområden*. Stockholm: Miljöförvaltningen.

Johansson, B. (2002). *Buller och bullerbekämpning*. Stockholm: Danagårds Grafiska AB.

Socialstyrelsen. (2006). *Bullret bort! - En liten bok om god ljudmiljö i förskolan*. Stockholm: Edita Norstedts Tryckeri.

Svenska språknämnden. (2000). *Svenska skrivregler*. Falköping: Elanders Gummessons.

SVENSK STANDARD SS 02 52 67, 1998-06-10. Utgåva 2.

SVENSK STANDARD SS 25268:2007, 2007-10-18. Utgåva 2.

Söderberg, L., Landstöm, U., & Kjellberg, A. (2001). *Ljudmiljön i förskolor och dess inverkan på upplevelse och hälsa bland personal*. Katrineholm: Arbetslivsinstitutet.

*Utomhusbuller*. Brüel & Kjør Sound & Vibration Measurement A/S 2000.

Åkerlöf, L. (2001). *Byggnadsakustik*. Stockholm: Elanders Svenskt Tryck AB.

### Internet

"Akustik, läran om ljudet" (2007). A.I.C. International Academy For Total Human Culture [www]. Tillgänglig på: <<http://www.human-academy.com/vetenskaper/naturvetenskap/Akustik.asp#frekvens>>. Hämtat den 3 september 2008.

"Buller på förskolor skadar våra barn" (2006). Axbom [www]. Tillgänglig på: <<http://www.axbom.se/artiklar/buller-skadar-barn>>. Hämtat den 25 september 2008.

Schäder, F. (2001). "Fallstudie Buller i barn och ungdomsmiljöer"[online]. Tillgänglig på:

<<http://www.skovde.se/upload/MiljoHalsoskydd/DokumentMHK/MHKfallstudie.pdf>>. Hämtat den 5 oktober 2008.

"Rapport från ljudnivåmätningar på förskolor och skolor Lidköping och Skara 2002-2003" (2004). Google [online]. Tillgänglig på:

<[http://www.vgregion.se/upload/SU/omrade\\_sahlgrenska/medicin/Arbets-%20och%20milj%C3%B6medicin/VMC/rapporter/SkaraLidk\\_Rapport\\_ljudnivmtningar.pdf](http://www.vgregion.se/upload/SU/omrade_sahlgrenska/medicin/Arbets-%20och%20milj%C3%B6medicin/VMC/rapporter/SkaraLidk_Rapport_ljudnivmtningar.pdf)>. Hämtat den 5 oktober 2008.

### **Personliga kontakter**

Kontakt har tagits med rektor, biträdande rektor eller annan personal på alla de skolor som har varit med i denna rapport.

## Bilaga 1. Mätarens instruktionsanvisning

### Inställningar

WSP Akustik har två st Nor140 Dessa är identiska, dvs. det finns ingen risk för att man tar med sig "fel" instrument. Följande inställningar bör kontrolleras före användning.

Starta Nor140, vänta...

- Tryck 0 BATT  
Kontrollera om du behöver byta batterier. Nor140 använder 4 st R6 batterier. När spänningen sjunker under 4 Volt så slås instrumentet av. Tryck ENTER eller 0 BATT för att komma tillbaka.
- Tryck SETUP
- Tryck 1: Instrument menu
- Tryck 1: Storing

Använd följande inställningar:

**Mode: Automatic**

**Setup: Internal** (inställningarna sparas på instrumentet)

**Result: SD-card** (resultatfiler sparas på SD-kortet)

För att ändra någon inställning, använd piltangenterna, dec respektive inc och bekräfta med ENTER.

Tryck ENTER ytterligare en gång för att komma tillbaka till SETUP.

#### 2: Meas. duration

Ställ in maximal mättid på Duration genom att använda pil- och sifvertangenterna.

För att undvika att instrumentet stoppar under en mätning så ställ gärna duration på ett högt värde till exempel 008:00:00 (åtta timmar). Bekräfta med ENTER.

Ställ in upplösning 10 sekunder 000:00:10 på Resolution på samma sätt som ovan.

Tryck ENTER ytterligare en gång för att komma tillbaka till SETUP.

#### 3: L(t) par

Här ställer man in vilka parametrar som instrumentet skall lagra. Med LE avses SEL.

Ändra med dec och inc och välj alla parametrar under F (FAST) bekräfta med ENTER.

Instrumentet frågar då om dessa parametrar även skall överföras till PC efter avslutad mätning, svara YES.

#### 4: Frequency mode

Kontrollera att Mode står på ON och Bandwidth 1/3.

#### 8: Recording

Duration anger hur länge inspelningen skall fortgå och Gain anger inspelningsvolymen, välj 60 sekunder och 48 dB.



## Mätningar

Kalibrera Nor140 genom att montera och starta kalibratoren och tryck därefter på CAL. För att justera ljudnivån ändra siffervärdet under Sens.: med dec och inc. Bekräfta med ENTER.

Starta mätningen, kontrollera att **R** lyser. Tryck STOP. Notera filnamnet som kommer högst upp på skärmen. Filerna hamnar i en automatiskt skapad datummap med löpande numrering. **Du måste själv hålla reda på vilken fil som har vilket nummer.** För att gå tillbaka till en sparad fil tryck RECALL.

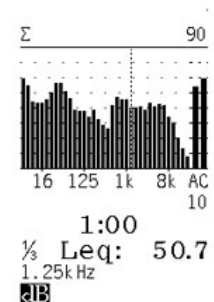
För att spela in under en mätning tryck STORE RECORD. Mätaren spelar då in tills du trycker STORE RECORD igen eller tills att tiden uppgår till de inställningar du angivit under SETUP och 8: Recording (60 sekunder).

Under en mätning så kan man växla mellan flera olika fönster. Det är lätt att gå vilse bland dessa fönster. Här följer en kort beskrivning.

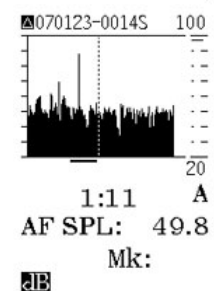
Standardfönstret visar total ljudnivå i dB(A) och dB(C) eller dB. Använd siffertangenterna för att växla till ett annat fönster.

3 FUNC växlar mellan SPL, Leq, Max, Min, LE och Peak. Tryck 6 gånger på 3 FUNC för att gå ett varv.

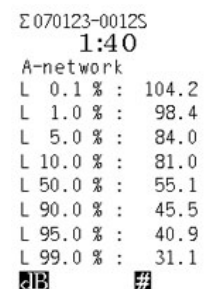
2 f↔t växlar till ett fönster som visar frekvenserna i tersband. När man trycker 2 f↔t visas först alltid SPL-nivån, tryck på 3 FUNC för att titta på en annan parameter. Använd dec och inc om du behöver justera bilden. Tryck 2 f↔t för att gå tillbaka till standardfönstret.



6 Σ↔Δ växlar till tidsfönstret. Med tangenterna M1, M2, M3 kan du under mätning lägga in en kort markering som hamnar strax under x-axeln. Tangenten M4 är en lång markering som du både startar och stoppar med två knapptryckningar. Om du trycker STORE RECORD så startar inspelningen och visas även den i form av en markering. Tryck STORE RECORD en gång till för att stoppa inspelningen. Tryck 6 Σ↔Δ för att gå tillbaka till standardfönstret.

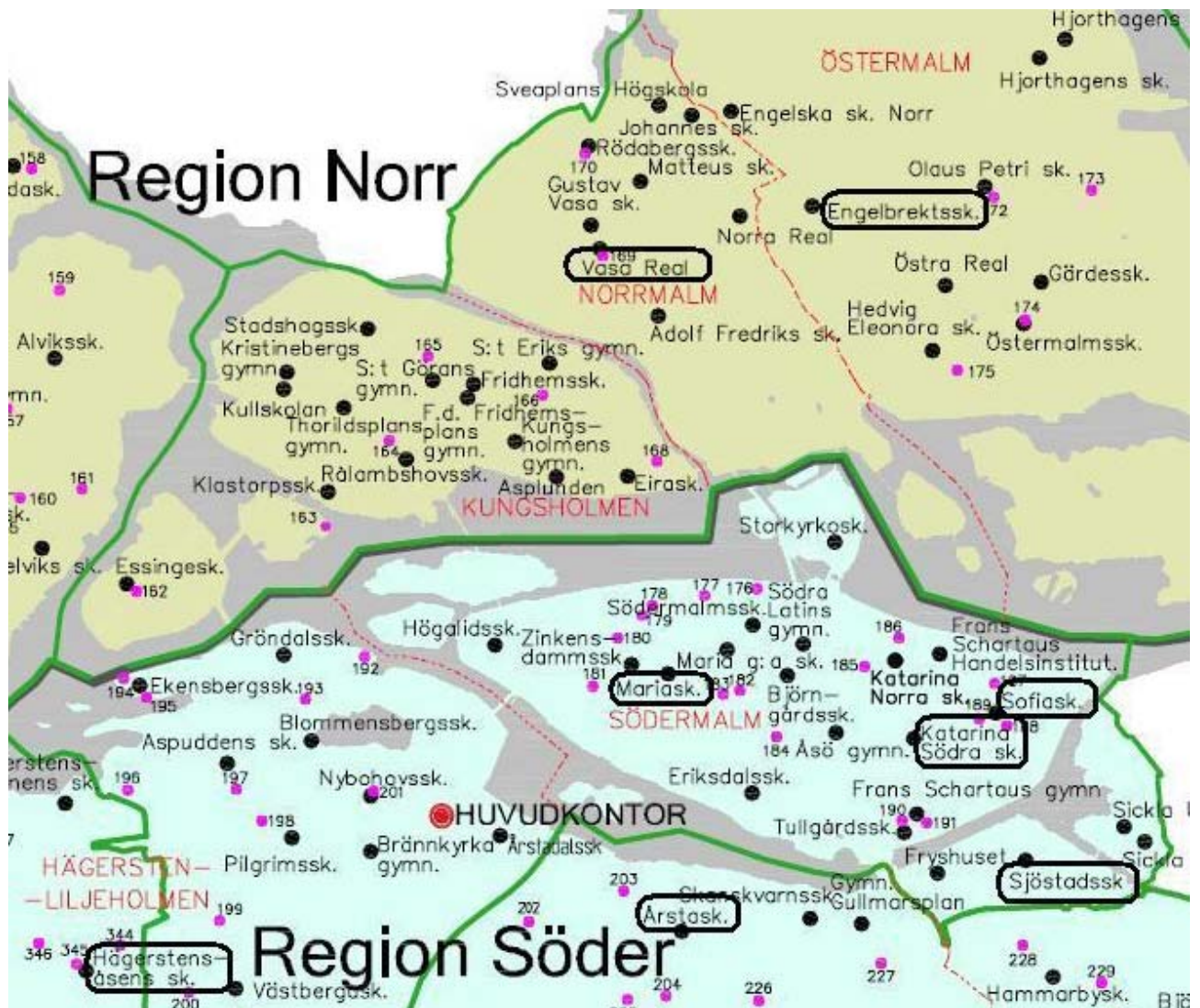


1 TBL visar Leq, Max, Min, LE, Peak samtidigt. Tryck 1 TBL en gång till för att se de statistiska parametrarna. Tryck 1 TBL ytterligare en gång för att återgå.



Källa: WSP Akustik (2008-10-30)

## Bilaga 2. Karta av skolornas placering i Stockholm



- Regiongräns
- Skola
- Förskola
- - - - - Stadsdelsnämndgräns ej sammanfallande med områdets gräns
- Områdesindelning
- En del förskolor i Hägersten tillhör Söder 1

Källa: <http://www.sisab.se/fastigheter/fastigheter.asp> , [http://www.sisab.se/pdf/Webbkarta\\_skolor\\_fsk.PDF](http://www.sisab.se/pdf/Webbkarta_skolor_fsk.PDF)  
(2008-10-08)

### Bilaga 3. Redovisning av de olika beräkningsstegen

$$\text{Ursprunglig formel: } R = 10 \cdot \lg \frac{S}{S_1 \cdot 10^{\left(\frac{-R_1}{10}\right)} + S_2 \cdot 10^{\left(\frac{-R_2}{10}\right)}}$$

Formeln kan skrivas om till:

$$\frac{R}{10} = \lg \frac{S}{S_1 \cdot 10^{\left(\frac{-R_1}{10}\right)} + S_2 \cdot 10^{\left(\frac{-R_2}{10}\right)}}$$

$$10 \cdot \frac{R}{10} = \lg \frac{S}{S_1 \cdot 10^{\left(\frac{-R_1}{10}\right)} + S_2 \cdot 10^{\left(\frac{-R_2}{10}\right)}}$$

$$(S_1 \cdot 10^{\left(\frac{-R_1}{10}\right)} + S_2 \cdot 10^{\left(\frac{-R_2}{10}\right)}) \cdot 10 \cdot \frac{R}{10} = S$$

$$S_1 \cdot 10^{\left(\frac{-R_1}{10}\right)} + S_2 \cdot 10^{\left(\frac{-R_2}{10}\right)} = \frac{S}{10^{\frac{R}{10}}}$$

$$S_1 \cdot 10^{\left(\frac{-R_1}{10}\right)} = \frac{S}{10^{\frac{R}{10}}} - S_2 \cdot 10^{\left(\frac{-R_2}{10}\right)}$$

$$10^{\left(\frac{-R_1}{10}\right)} = \frac{\frac{S}{10^{\frac{R}{10}}} - S_2 \cdot 10^{\left(\frac{-R_2}{10}\right)}}{S_1}$$

$$\frac{-R_1}{10} = \lg \frac{\frac{S}{10^{(R/10)}} - S_2 \cdot 10^{(-R_2/10)}}{S_1}$$

$$R_1 = -10 \cdot \lg \frac{\frac{S}{10^{(R/10)}} - S_2 \cdot 10^{(-R_2/10)}}{S_1}$$